

# 1W-05 白内障手術シミュレーションシステム

児島 彰 田中 純 仁井谷 智恵 古川 亮 中村 泰明 藤野 清次  
広島市立大学 情報科学部

## 1 はじめに

眼科医学生の内白内障手術実習には、白内障でない正常な豚の眼球が使われており、その実習だけでは学生の手術訓練としては不十分である。そこで、我々はコンピュータを使った白内障手術のシミュレーションシステムを開発している。

## 2 白内障と白内障手術

白内障は眼球の水晶体が白濁する病気で、視界が徐々に濁り、やがては失明するおそれがある。図1に眼球の構造を、図2に水晶体の構造と平均的な寸法(直径、厚み)を示す。白内障の治療には手術が必要で、一般的な手術方法は超音波ハンドピースを用いて行う乳化吸引法(PEA:phacoemulsification and aspiration)で、水晶体を除去して眼内レンズを挿入する。図3に乳化吸引の様子を示す。超音波ハンドピースの先端にはチタン製外径約1mmの中空のチップが装着され、チップ先端が軸方向縦振動を行い、振動の衝撃により白濁した水晶体を乳化(破碎)する。乳化(破碎)された水晶体の破片は、チップ先端の吸引口に吸引除去される[1][2]。

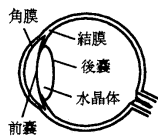


図1: 眼球の構造

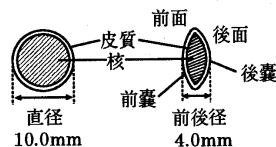


図2: 水晶体の構造及び寸法

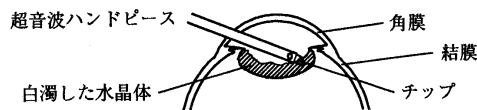


図3: 乳化吸引操作

## 3 眼球のモデル化

### 3.1 眼球表層部(角膜、結膜)のモデル化

眼球の角膜及び結膜を、正方形ポリゴンの集合でモデル化した。図4のように、変化の少ない場所は正方形ポリゴンを大きくし、高曲率部分や切り口など形状の複雑なところなど必要などところのみ、更に小さな正方形ポリゴンに分割する。これによりポリゴン数を削減し、描画速度の向上を図っている。

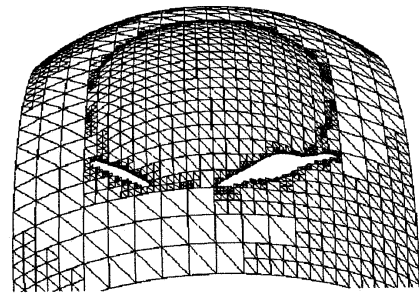


図4: 角膜、結膜のワイヤフレームモデル

### 3.2 開口部のモデル化

手術では、超音波ハンドピースを挿入するために、角膜と結膜の間に切り口を作る。この開口部の形状は、以下の数式によりモデル化した。図5は、開口部の形状と数式のパラメータの関係を示している。これにより自然な開口部の形状を表現できる。

$$g(s, t) = a \exp\left(-\frac{s^2}{2b^2}\right) \exp(-ct). \quad (1)$$

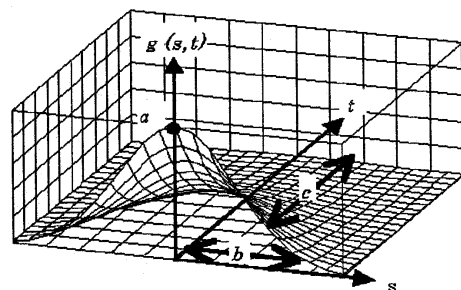


図5: 開口部

### 3.3 白濁水晶体（核、皮質）のモデル化

白濁水晶体の核及び皮質を、内部データを持つサーフェスポリゴンとしてモデル化した。データ上、白濁水晶体の核及び皮質は、図6(左)のような一定間隔の規則的な点の集合により構成される。個々の点は内部データにおいて、図6(右)のように上下・左右・前後の合計6個の点と連結している。この連結データをもとに、表面にのみポリゴンを形成している。白内障は進行度合により水晶体の硬さに変化する。本システムの水晶体モデルでは、内部データの連結の強さをパラメータで持ち、これを調整することで、白内障の様々な進行度合の水晶体の硬さを表現できるようにした。超音波ハンドピースによる乳化操作は、このパラメータを操作し、内部データの連結を解除することで表現した。実際の進行した白内障に対する手術では、硬くなった水晶体を分割しながら、水平方向に回転させる手法が使われる[2]。本システムの水晶体部は、眼球表層部からは独立した構造にし、回転操作が可能ないようにした。

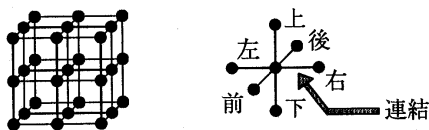


図6: 点の集合(左)と点の連結(右)の模式図

## 4 システム構成

シミュレーションシステムの構成を図7に示す。グラフィックワークステーションとして、SGI OCTANEを使用している。左右の目から見た画像を垂直走査に同期して交互に表示させ、赤外線エミッターが送信する赤外線の同期信号により、液晶シャッターメガネの左右のシャッターが高速で交互に閉開し、立体視野を得ることが可能である。センサーは3次元位置( $x, y, z$ )および3軸の回転角(ヨー、ロール、ピッチ)が検出可能である。

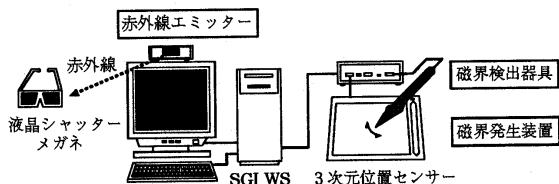


図7: システム構成図

## 5 シミュレーション・システムの操作例

図8にシミュレーション・システムの操作例を示す。超音波ハンドピースを眼球外など異常な範囲に移動させようとすると、警告音を発生するようにしてある。

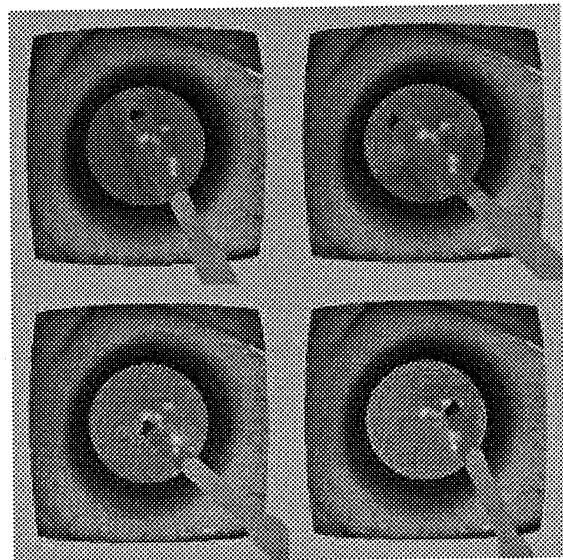


図8: 吸引操作例

## 6 シミュレーション・システムの描画性能

本システムの乳化吸引操作時における1フレームの平均描画時間は0.16秒であり、今回の手術訓練のリアルタイム描画に必要な速度は、ほぼ得られている。

## 7 おわりに

本研究では、白内障手術のシミュレーションシステムを開発した。眼科医師によると、本システムの描画は実際の乳化吸引操作に近く感じられるが、吸引の微調整など改善する点が幾つか残されている。

### 謝辞

本システムの開発にあたって、協力して頂いている福岡大学医学部眼科教室 加藤 整 講師に感謝致します。

### 参考文献

- [1] 日本電子機械工業会: “医用超音波機器ハンドブック”, コロナ社, pp.171-172, 1997.
- [2] 大鹿 哲朗 他: “超音波白内障手術の修得”, メジカルビュー社, 1997.